Un outil de management global du Soutien Logistique Intégré : Application à la Ligne d'Intégration Laser

Sylvain PERRON
CEA/CESTA
BP n°2
33114 Le Barp
sylvain.perron@free.fr

François PERES
Ecole Centrale Paris
Laboratoire Productique Logistique
Grande voie des vignes
92295 Chatenay Malabry
peres@pl.ecp.fr

Delphine COURSIMAULT
CEA/CESTA
BP n°2
33114 Le Barp

Domaine scientifique couvert :
-B-
MAITRISE DE LA PERFORMANCE

RESUME :

Le Soutien Logistique Intégré est un processus visant à optimiser l'ensemble *Système Principal –Système de Soutien* sous la contrainte du couple *Disponibilité Opérationnelle / Coût Global de Possession.* L'application des normes SLI, en raison de la masse d'études et de tâches exigées, peut faire perdre de vue cet objectif fondamental. Pour éviter cet écueil, il faut adapter et dimensionner la démarche SLI au projet, tel que suggéré en première partie de cet article. Un outil d'aide à la décision intégrant l'ensemble des éléments du soutien logistique, est alors nécessaire pour que les décideurs puissent agir en toute connaissance de conséquences. Les auteurs proposent, pour cela, d'étendre l'utilisation des réseaux de Petri stochastiques, courante en Sûreté de Fonctionnement, à l'évaluation de la performance technico-économique du couple système principal – système de soutien. Cette méthodologie est appliquée à un cas concret, la Ligne d'Intégration Laser en cours d'installation au CEA/CESTA, où elle a montré tout son potentiel.

MOTS CLES : Soutien Logistique Intégré, Réseaux de Petri, Simulation.

KEY WORDS : Integrated Logistics Support, Petri Nets, Simulation.

1 Pour un Soutien Logistique Intégré efficace

Les normes MIL STD 1388 1 et 2 ont longtemps été imposées comme éléments contractuels des marchés de L'US DOD. Leur application lourde a été la cause non seulement de surcoût mais aussi de retards dans les projets militaires américains. On observe aujourd'hui un net retour en arrière avec la publication du MIL HDBK 512 qui remplace les documents de référence 1388 par un guide applicable. Cependant, 30 ans d'exigences de moyens et non de

résultats ont suffit pour faire perdre à de très nombreux logisticiens les bases réelles du Soutien Logistique Intégré. L'application brutale des normes, très axées sur les problèmes d'acquisition, a trop souvent déconnecté la démarche de SLI des besoins du concepteur, elles sont en effet orientées pour l'acquisition et non la conception. Il est certain que l'ampleur des spécifications de la 1388 et du travail généré est à l'origine d'un retard dans la pénétration du SLI dans l'industrie non militaire. Il nous semble donc essentiel de bien recadrer l'enjeu du SLI, que notre réflexion a conduit à définir ainsi :

> Le Soutien Logistique Intégré est un processus visant à optimiser l'ensemble *Système Principal –Système de Soutien* sous la contrainte du couple *Disponibilité Opérationnelle / Coût Global de Possession.*

Reprenons la taxonomie des produits de Guillosson [GUI96] qui distingue :

- Les **biens consommables** : ce sont les produits que disparaissent au moment de leur emploi. On y assimile les services
- Les **biens durables** : ce sont des biens qui rendent des services aux consommateurs pendant un temps donné (la durée de vie du bien).
- Les **systèmes complexes** : ce sont des systèmes composés le plus souvent de biens durables, de liaison entre ces biens, d'éléments de commande ou de contrôle du système. Ils recouvrent les grands projets, tel que ceux de l'aéronautique, du spatial ou du militaire.

Les biens consommables ne sont pas directement concernés par les activités de Soutien Logistique Intégré, puisque leur utilisation se traduit par la destruction irrémédiable du produit. Les fondements du SLI s'appliquent, en revanche et sans restriction aux systèmes complexes et aux biens durables. La réponse logistique doit être ajusté au type de système, à l'utilisateur final du système (un particulier ou une entreprise, au sens très large du terme) et à la diffusion du système à soutenir (système unitaire ou fabriqué en série).

Ces spécificités du système induisent de profonds changements dans le déroulement des activités de SLI. C'est là que se situe la valeur ajoutée de l'ingénieur en charge du management des activités SLI. La norme RG AERO 0040 identifie les activités de management comme : l'ensemble coordonné et itératif des activités de gestion et des activités techniques nécessaires pour :

- assurer la prise en compte du soutien dans l'énoncé des exigences relatives au système principal,

- spécifier et définir le système de soutien en optimisant l'ensemble système principal / système de soutien,
- réaliser et mettre en place le système de soutien,
- maintenir ce système de soutien pendant la durée de vie du système principal.

Pour cela, il utilise un ensemble d'outil qui lui permettent de caractériser le système principal (Sûreté de fonctionnement), le système de soutien (RCM, LORA…) et enfin l'ensemble système principal et système de soutien (Analyse de Soutien Logistique (ASL)). L'ASL est la synthèse des études précédentes. Elle se traduit, dans un premier temps, par une base de données logistiques convertie, pour la phase opérationnelle du système principal, en Plan de Maintenance. Ces études ne sont cependant pas une fin en soi ! De trop nombreux industriels, souvent grands donneurs d'ordre, spécifient des études dont ils n'exploitent pas concrètement les résultats. Nous suivrons totalement J.Jones [JON87] qui précise que *''trop souvent, les logisticiens se laissent dominer par la part documentaire de la ASL et oublient que la raison d'être réelle de la ASL réside dans l'exécution des analyses*''. Il appartient au manager du Soutien Logistique d'adapter ses spécifications en fonction du système et d'évaluer son juste besoin en étude, afin d'éviter le surcoût d'une part et la méconnaissance du système d'autre part. Son esprit d'analyse et son expérience, de la logistique de soutien et du système sont alors ses meilleurs alliés, bien plus que la section 100 (Program and planning Control) de la 1388, trop souvent ignorée.

La clef de l'efficacité et de la réussite du SLI est intimement liée à la notion d'intégration. Nous en identifions 4 axes :

- Le premier axe est à l'origine même de la démarche : **le système principal et son système de soutien** doivent être considérés comme un seul et unique système dans le but d'optimiser le couple Disponibilité / Coût global de possession (intégration structurelle de premier niveau).
- Le deuxième axe concerne l'intégration à la Conception : l'adéquation du système de soutien et du système principal sera d'autant meilleure qu'ils sont conçus **conjointement et simultanément**. La phase de conception est propice à faire interagir les contraintes propres à ces deux éléments. Cette intégration passe par la sensibilisation, par les logisticiens, des équipes de conception aux problèmes de maintien en conditions opérationnelles de l'installation (intégration temporelle).
- Le troisième axe se rapporte à l'intégration des équipements de soutien entre eux : il s'agit ici de bien s'assurer de l'homogénéité globale du système de soutien et de la

cohérence des différentes fournitures, appelées aussi les 9 éléments du système de soutien (intégration structurelle de deuxième niveau)

- Finalement, le quatrième et dernier axe concerne l'intégration au **management de projet** : aucune démarche SLI n'est envisageable s'il n'y a pas une volonté marquée du chef de projet de mettre en place ces activités et de donner du poids aux résultats de celles-ci (intégration organisationnelle).

Les spécificités de chaque projet et de chaque système pondèrent l'importance de chaque axe. On peut ainsi très bien faire du Soutien Logistique Intégré sur un système existant, l'absence d'intégration à la conception sera palliée par un approfondissement des 3 autres axes.

2 Le SLI appliqué à la Ligne d'Intégration Laser du CEA/DAM

Dans le cadre du programme Simulation, la Direction des Applications Militaires (DAM) du CEA conçoit un système d'expériences capable d'initier des plasmas denses par confinement inertiel, dans le but d'affiner ses connaissances sur les réactions thermonucléaires. Ce système est un laser de très grande puissance, appelé Laser Mégajoule, capable de déposer sur cible une énergie de 1,8MJ par la focalisation de 240 faisceaux Lasers et qui sera opérationnel en 2008. Afin de valider la technologie retenue, le CEA construit actuellement une unité prototype, la Ligne d'Intégration Laser (LIL), ne contenant qu'une seule des 30 chaînes Laser du LMJ, à savoir 8 faisceaux. Cette installation sera opérationnelle dès 2001 pour sa phase de qualification de la technologie LMJ. Elle aura, à partir de 2004, une vie propre en tant que système d'expériences à part entière, phase à laquelle nous nous intéressons.

Face à la complexité du système et aux objectifs d'exploitation (70% de disponibilité opérationnelle et 95% de fiabilité), le soutien de l'installation prend une importance toute particulière pour garantir la tenue du profil d'emploi et les coûts objectifs. Consciente de cet enjeu, la Maîtrise d' Œuvre Principale du projet a initié une démarche de SLI, tel que spécifié dans les normes RG AERO 0040 et inspiré de la MIL STD 1388.

Cet exemple met en évidence les spécificités des systèmes complexes vis à vis du SLI. Le système est subdivisé en sous-ensembles fonctionnels dont la conception détaillée et la fabrication dépendent souvent de plusieurs industriels sous-ensembliers. Ces industriels sont en charge des études de sûreté de fonctionnement et des analyses de soutien logistique, mais il appartient au maître d'œuvre système de s'assurer du respect des spécifications et de la synthèse des données. En effet, chaque industriel n'a qu'une vision locale du système au contraire du systémier qui dispose d'une vue élargie du couple Système Principal-Système de

Soutien associé. Il est le seul garant auprès de la maîtrise d'ouvrage de la tenue des objectifs de l'installation, tant en terme de performances qu'en terme de coûts.

Par ailleurs et comme on l'a vu, la démarche SLI exige que toute décision concernant le système soit prise en intégrant la notion d'optimisation du couple Disponibilité Opérationnel / Coût global de possession induit. Cela s'applique en particulier pour le choix de la stratégie d'Exploitation / Maintenance. Cette problématique est très sensible au CEA où l'échéance de mise en service de l'installation est proche. Les décideurs ont besoin de définir leur politique d'Exploitation / Maintenance en toute connaissance de conséquences.

Or, si les outils d'aide à la décision sont répandus en sûreté de fonctionnement, il en existe peu à la disposition du logisticien qui intègre l'ensemble des éléments composants ou inter-agissant avec le système de soutien. Le modèle de simulation MOSAIC, que nous avons développé, répond à ce besoin. Il s'agit d'un outil d'aide à la décision qui permet d'évaluer l'impact d'une politique d'Exploitation/Maintenance envisagée sur les indicateurs de performances significatifs pour la LIL : la disponibilité opérationnelle de l'installation, la cadence annuelle de tirs, le nombre de campagnes d'expériences menées, le coût d'exploitation/maintenance annuel…

3 Evaluation du couple Coût d'Exploitation-Maintenance/ Disponibilité Opérationnelle.

Nous proposons une méthode d'évaluation de ce couple pour un système et ce, dès sa phase de conception, en intégrant les politiques d'Exploitation/Maintenance. Le modèle MOSAIC n'est qu'un support qui permet de cerner le domaine d'application de cette démarche, son potentiel et ses limites. Elle ne doit pas être réduite aux systèmes complexes unitaires à vocation industrielle. Puisqu'elle tient compte des spécificités de tout système, elle s'adaptera au prix d'un effort réduit à des biens durables, entre autres.

3.1 Du Coût Global de Possession au Coût d'Exploitation/Maintenance

On entend par Coût Global de Possession la somme des coûts engendrés par toutes les phases de vie d'un système. Dans la majorité des cas, et surtout pour des systèmes à durée de vie importante (la durée de vie de la LIL est de 30 ans), les coûts à longs termes(comme le démantèlement) sont difficiles à estimer avec exactitude. Les évolutions du cadre réglementaire, les politiques industrielles des sous-traitants, les fluctuations de la monnaie… sont autant de paramètres qu'il est délicat de valoriser par anticipation. Leur prise en compte dans l'outil d'analyse que nous proposons est alors une source importante d'incertitudes.

De plus, le couple Do/CGP se doit d'être un indicateur de la performance technico-économique du système. Le coût d'acquisition du système représente de 30 à 40% du CGP [LAU94]. Lorsque aucune retro-action n'est possible sur la conception, il devient alors une donnée d'entrée figée. Sa prise en compte induit une baisse regrettable de sensibilité de l'indicateur Coût.

C'est pour ces deux raisons, applicables à la LIL, que nous avons pris le parti de réduire l'estimation du CGP au Coût d'Exploitation/Maintenance (CEM) annuel.

3.2 De la Disponibilité Opérationnelle à la Cadence de tirs

On définit la disponibilité opérationnelle comme l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données à un instant donné. La mise en application sur le terrain de cette définition met en évidence son imprécision. En effet, si la disponibilité intrinsèque exclue toutes les activités non inhérentes au système (délais administratifs et logistiques, maintenance préventive), le domaine de la disponibilité opérationnelle doit faire l'objet d'une définition claire éliminant toute interprétation fausse du sens de cet indicateur.

Par ailleurs, l'exploitant d'un système accorde, relativement, plus d'intérêt à ce pourquoi un système a été conçu qu'à la façon dont il fonctionne. Il apparaît donc logique d'évaluer la performance au niveau fonctionnel le plus haut. Or la disponibilité opérationnelle n'est pas nécessairement la fonction première du système. Ainsi, pour notre exemple, la LIL n'est pas réalisée pour être disponible à 70%, mais pour effectuer des tirs Laser. La cadence de tirs est donc un critère de performance non seulement plus accessible mais aussi plus significatif que la disponibilité opérationnelle. Mais l'évaluation de la cadence de tir, ou de tout parametre opérationnel, nécessite la prise en compte, non seulement de la politique de soutien logistique, mais surtout des politiques d'exploitation de l'installation qu'il faut formaliser.

C'est pour ces raisons que nous proposons pour la LIL, d'évaluer le couple Cadence de tirs / CEM qui s'avère être plus adapté que le couple Do/CGP.

4 MOSAIC : Modèle de Simulation des politiques d'exploitAtion-soutIen/Coûts

4.1 Le cœur du modèle MOSAIC : les Réseaux de Petri Stochastiques

Notre modèle partage un des problèmes majeurs inhérents à la sûreté de fonctionnement d'un système industriel, soulevé par Y. Dutuit [DUT96]. Il s'agit de la prise en compte effective et

réaliste des interactions dynamiques, existant entre le comportement opérationnel propre au procédé industriel et le comportement dysfonctionnel des éléments le composant.
Les méthodes combinatoires (arbre de défaillances, arbre d'événement, bloc diagramme fonctionnel…) sont particulièrement adaptées à la description qualitative du fonctionnement du système mais avouent leurs limites pour l'évaluation quantitative de critère de performance d'un système industriel dont les éléments sont fortement inter-dépendant [SAS98] [ERE97] [DUT96]. L'approche dite markovienne permet, elle, une évaluation analytique de phénomènes stochastiques. Par contre, elle nous impose un jeu d'hypothèses markoviennes, excluant quasiment la prise en compte des phénomènes déterministes [PER96].
La technique de simulation de Monte-Carlo permet de s'affranchir des problèmes présentés ci-dessus. Elle est, depuis 1996 [DUT96], de plus en plus souvent associée au support que sont les réseaux de Petri stochastiques. La grande qualité des réseaux de Petri stochastiques est leur potentiel de formalisation qui permet de structurer et d'exploiter des modèles et de faciliter leur réutilisation et leur enrichissement en vue de nouveaux objectifs d'analyse. Ils sont régulièrement utilisés pour l'évaluation de la disponibilité de systèmes, spatiaux pour JF. Ereau[ERE97], industriels pour C. Sassine [SAS98] et JP. Signoret [SIG95]. JC Grenouilleau [GRE99] les a utilisés avec succès pour la modélisation de politiques d'approvisionnement en éléments de rechange d'une station orbitale. Nous étendons leur application à un système complexe où nous prenons en compte non seulement l'ensemble des éléments du soutien logistique mais aussi les contraintes d'exploitation du système principal. Il ne s'agit donc plus d'appliquer les réseaux de Petri à la sûreté de fonctionnement mais au Soutien Logistique Intégré, ou comme nous l'avons identifié précédemment, il y a une carence d'outil et de méthode d'aide à la décision.
Nous avons retenu comme outil de simulation le logiciel MOCA-RP v9.1, distribué par la société IXI [IXI96]. Il supporte la méthode des réseaux de Petri stochastiques permettant de prendre en compte des phénomènes déterministes et aléatoires. Il utilise un formalisme interprété permettant la synchronisation de sous réseaux par messages et les simule par des techniques de Monte-Carlo.

4.2 La structure de MOSAIC

La complexité d'un système tel que la LIL impose de structurer la modélisation de sorte qu'elle soit évolutive et intuitive. Nous avons donc mis en œuvre un modèle comportemental hiérarchisé en deux niveaux :

4.2.1 La couche structurelle :

Cette couche décrit le comportement intrinsèque du système, c'est donc une couche probabiliste puisqu'elle intègre l'aléatoire de l'occurrence d'une défaillance. Elle reprend l'architecture du système tel que décrit dans l'arborescence logistique. Le niveau de représentation de cette couche dépend du système à modéliser. De façon optimale, il faudrait le décrire jusqu'aux Unités Remplaçables en Atelier, le plus petit constituant du système gérés par l'exploitant [BLA96]. Cependant, des agrégations sont possibles (en Unités Remplaçables en Ligne (URL), ou même en sous-ensembles…) et se justifient par la complexité du système, l'indépendance des constituants élémentaires vis à vis de l'Exploitation-Maintenance, l'absence de données sur ces constituants…

Dans notre cas d'application, la LIL est subdivisée en 20 sous-ensembles qui représentent un total de 1000 URLs différentes pour 6000 installées et 3000 URAs différentes pour 20000 installées. Il est donc nécessaire, pour éviter l'explosion du nombre de places du modèle, de rester au niveau d'agrégation sous-ensemble.

Chaque sous-ensemble est représenté par un réseau de Pétri élémentaire. Chacun de ces réseaux caractérise l'état de fonctionnement du sous-ensemble à partir de deux places : sous-ensemble opérationnel ou en panne.

Le passage de l'état de Marche à l'état de Panne est régi par une loi exponentielle, de paramètre λ : taux de panne du sous-ensemble, et le passage de l'état de Panne à Marche par μ : taux de réparation. Nous utilisons aussi des lois de défaillance à la sollicitation (la sollicitation étant le tir Laser) pour les sous-ensembles sujets à ce type défaillances (Cf. Figure 1). A chaque sous-ensemble est associé un message booléen décrivant son état de fonctionnement (Vrai=Marche, Faux=Panne).

L'état de fonctionnement global du système LIL est ensuite déterminé par un réseau de Pétri élémentaire à 2 états (Marche et Panne) dont les transitions ne sont plus régies par des lois de défaillances mais dépendent de l'état des sous-ensembles constitutifs. On utilise deux phrases booléennes (Cf. Figure 2) :

marche = tous les messages sont vrais / panne = au moins un message est faux

Cette couche statique est le reflet du comportement intrinsèque du système. Les données d'entrées de cette couche évoluent au fur et à mesure de l'avancement du projet. En phase de pré-conception, les données peuvent être issues de bases de données de fiabilités ou de Retour d'Expérience relatifs au fonctionnement de systèmes antérieurs. Les rapports de conception permettent ensuite d'intégrer la structure exacte du système et d'évaluer sa

fiabilité sur la base des rapports de SdF. Enfin, en phase d'exploitation, on peut effectuer un suivi en intégrant les résultats de fiabilité réellement observés.

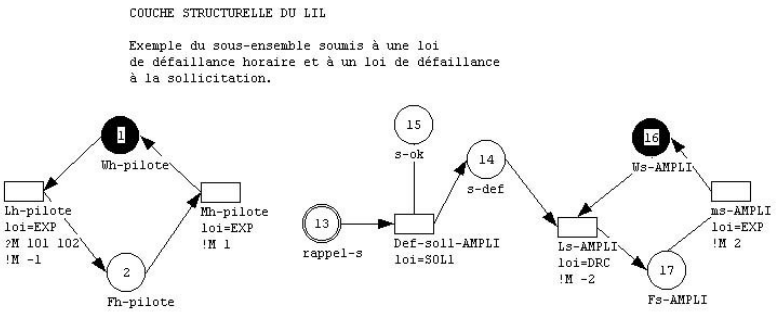

Figure 1 - Représentation classique de deux sous-ensembles

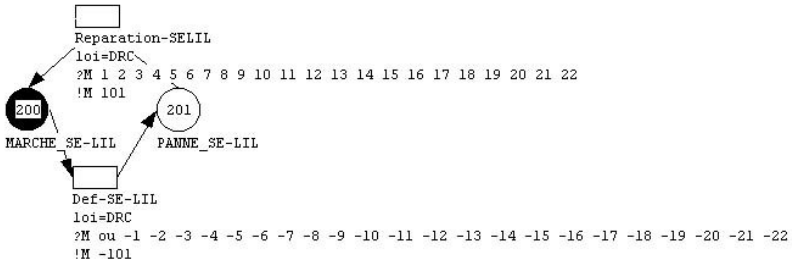

Figure 2 - Boucle de fonctionnement de l'installation LIL

4.2.2 La couche Opérationnelle :

Elle décrit le fonctionnement de l'installation, par l'intégration des politiques d'Exploitation et de Maintenance. Les données d'entrées sont issues de la capitalisation de l'expérience et du savoir-faire CEA pour l'exploitation des grands systèmes Laser.

Cette couche est constituée d'un ensemble de réseaux élémentaires, appelés boucles, décrivant chacun un aspect des phases de vie opérationnelle. Ainsi, MOSAIC comporte des boucles décrivant (liste non exhaustive) : les séquences de tirs envisagées, le déroulement d'une campagne de tir, les périodes de maintenance préventives, l'organisation du travail en équipe…

C'est une couche plutôt déterministe où le jeu de messages permet de synchroniser les boucles entre elles et ainsi de décrire à tout moment l'état du système.

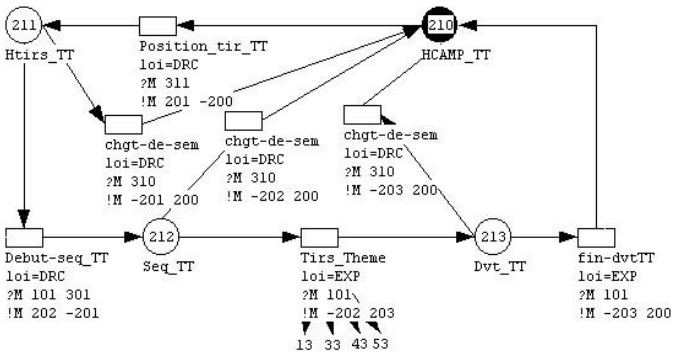

Figure 3 - Boucle décrivant le déroulement d'une campagne de tirs de thème

Les couches opérationnelles et structurelles communiquent entre elles grâce à un jeu de messages synchronisés, de la même façon que les boucles de la couche opérationnelle. On tient donc compte des inter-dépendance du système. Ainsi, par exemple, suivant le profil d'emploi des sous-ensembles, l'un d'entre eux peut être désactivé et considéré comme en veille durant une séquence de tirs particulière alors que d'autres sous-ensembles sont sollicités en permanence. On peut ainsi décrire très précisément le fonctionnement de l'installation et de ses particularités.

En instrumentant les différents réseaux élémentaires de chacune des couches, on extrait, à partir des fichiers résultats de la simulation, l'ensemble des données nécessaires à l'évaluation des critères de performances précités. Un traitement simple de ces données par un tableur standard permet de disposer rapidement de tableaux de bord comparants les différentes politiques d'exploitation / maintenance modélisées.

Il en est de même pour l'évaluation du coût d'Exploitation/Maintenance. Tous les coûts identifiés dans l'arborescence des coûts comme étant fixes, sont quantifiés une fois pour toute et reportés dans notre tableur. Les coûts variables sont eux dépendant de l'exploitation. Ils sont évalués en multipliant un indicateur issu de la simulation (par exemple le nombre de tirs réalisés) par une unité de coûts (consommation électrique par tir x prix du kWh).

Nous insistons sur la capacité d'adaptation de MOSAIC a de nouvelles contraintes. Grâce aux réseaux de Pétri et leur formalisation, nous avons toujours pu prendre en compte les spécificités de la LIL. A titre d'exemple, nous menons actuellement un travail de modélisation de l'endommagement des optiques en fonction de la fluence (Energie lumineuse par cm²). Ce phénomène très complexe et contraignant fortement le coût d'exploitation, nécessite l'utilisation de lois spécifiques qui ont été modélisées par l'utilisation d'une boucle spécifique ‘‘d'endommagement d'une optique’’. De la même façon, nous avons pu intégrer les contraintes imposées par les contrôles réglementaires (sécurité/sûreté) qui doivent être

effectués sur une installation du type de la LIL et qui impactent sa disponibilité opérationnelle.

5 Exemples de résultats

Les exemples d'utilisation des résultats de MOSAIC sont nombreux au CEA. On a par exemple, établi une liste des éléments critique vis à vis de la cadence de tir. On a ainsi montré que la fiabilité intrinsèque de la LIL n'est pas, en l'état, un potentiel de progrès significatifs. La courbe, figure 4, représente l'évolution de la cadence de tirs et de la disponibilité intrinsèque soumise à une amélioration et une dégradation de la fiabilité. On y voit très bien que les prédictions des industriels sous-ensembliers se situent sur la zone asymptotique de la courbe. On aboutit à deux conclusions :

- La variabilité des résultats est faible ; si les prédictions des industriels s'avèrent optimistes à l'usage, les résultats de nos études ne seront pas complètement faussées.
- Un retour en conception du système en vue d'améliorer la fiabilité ne permettra pas un gain réel de cette cadence de tirs.

L'amélioration de la cadence de tir passe plutôt par une optimisation des séquences de tirs et de leur enchaînement et par une amélioration de la maintenabilité de la LIL.

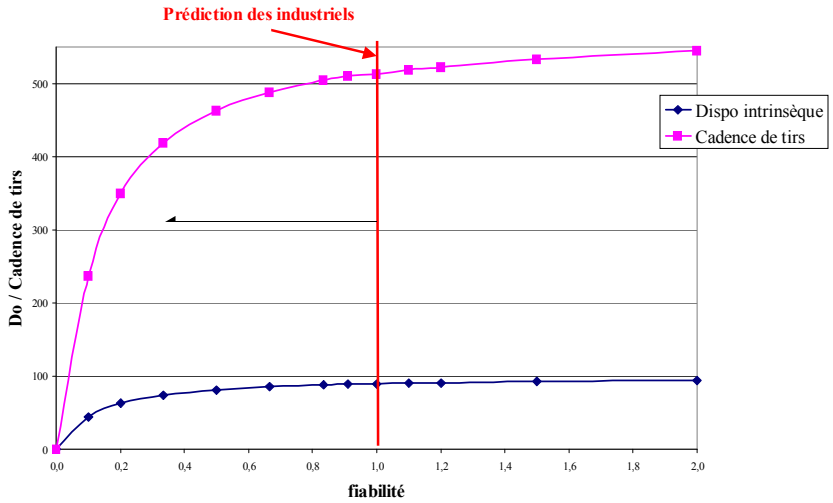

Figure 4 - Influence de la fiabilité

6 CONCLUSIONS

Ce papier avait pour but de donner un nouveau référentiel relatif à la mise en œuvre du Soutien Logistique Intégré. Les normes sont aujourd'hui trop rigides et ne se prêtent plus aux besoins des utilisateurs qui ont des impératifs de réactivité nécessitant une souplesse accrue

des outils qu'ils manipulent. L'importance de l'intégration (structurelle, temporelle ou organisationnelle) du soutien a été soulignée. Elle débouche sur la prise en compte dès le stade de la conception d'éléments de soutien cohérents entre eux et en phase avec le système principal. Les budgets étant, par nature, non extensibles, il faut alors justifier des choix des éléments de soutien, parfois coûteux et aux effets à long terme. Pour cette raison un outil d'aide à la décision, MOSAIC, a été développé. Il permet d'évaluer la performance technico-économique d'un système en vue d'optimiser son exploitation en toute connaissance de conséquences. MOSAIC a montré la parfaite adaptation des réseaux de Petri à la modélisation du Soutien Logistique et de l'exploitation d'une installation. Si l'outil MOSAIC est très spécifique à notre système d'expériences LIL, la méthode mise en place pour son développement et les critères de performances qu'il permet de mesurer n'en sont pas moins génériques. Cet outil évolue ensuite en même temps que la conception du système, et permet, en intégrant le Retour d'Expérience en phase opérationnelle, de disposer d'un outil d'optimisation de l'Exploitation/Maintenance à jour.

7 Bibliographie sommaire

BLA96 Benjamin S BLANCHARD, *Logistics engineering and management*, Prentice Hall, Fourth Edition, 1992.

ERE97 Jean-François EREAU, *Réseaux de Petri pour l'étude de la disponibilité opérationnelle des systèmes spatiaux en phase d'avant-projet*, Thèse préparée à l'Université Paul Sabatier, Toulouse, 1997.

GRE99 Jean-Christophe GRENOUILLEAU*, Modélisation des politiques d'approvisionnement en éléments de rechange pour le laboratoire orbital Colombus*, Thèse préparée à l'Ecole Centrale Paris, Dec 1999.

GUI96 Pierre GUILLOSSSON, *la logistique de soutien et son environnement*, NATHAN, oct 1996.

JON87 James V. JONES, *Intagrated Logistics Support Handbook*, Tab Book, 1987.

LAU94 Jean LAURENTIE, Logistique, Démarches et techniques, AFNOR, 1994.

PER96 François PERES, *Outils d'Analyse de Performances pour Stratégies de Maintenance dans les Systèmes Manufacturies de Production*, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes, décembre1996

SIG95 Jean-Pierre SIGNORET, *Réseaux de Petri typique pour les études de sûreté de fonctionnement des systèmes pétrolier*, Sep 1996.

DUT96 Y DUTUIT, A RAUZY, JP SIGNORET, P THOMAS, *Modélisation d'un système dynamique simple et évaluation de sa fiabilité par réseaux de Petri stochastiques*, colloque Lambda-Mu 1996.

IXI96 JP SIGNORET, *Manuel d'utilisation MOCA-RP 9.1*, révision 3.1, Fev 96.

SAS98 Chadi SASSINE*, Intégration des politiques de maintenance dans les systèmes de production manufacturiers*, Thèse préparée au laboratoire d'Automatique de Grenoble, Juil 1998.